

# Escenarios del Impacto Económico Social del Cambio Global del Clima en la República Argentina

Académico de Número Ing. Agr. Juan J. Burgos

## I. INTRODUCCION

El Cambio Global del Clima, de ocurrir como está predicho, significará por sus consecuencias una profunda transformación económica y social del mundo actual.

Debemos estar preparados para las alternativas: evitar o mitigar el cambio en sí mismo, o bien adaptar la sociedad humana a la severidad del cambio, en la mejor forma posible.

Es indispensable, desde ya, acometer una acción inmediata desde todos los ángulos del conocimiento aunque, por ahora, no se obtengan resultados definitivos para afrontar las alternativas mencionadas precedentemente.

El propósito de esta contribución es discutir algunos conceptos básicos necesarios para delimitar el alcance de las conclusiones actuales, señalar sus incertidumbres y en último término, lo cual es muy importante, estimular la profundización y el conocimiento del problema que nos preocupa.

En una ocasión anterior (Burgos, 1990a), por invitación de la A.M.E., tuvimos la oportunidad de anticipar esta misma hipótesis en términos muy generales y aquí la presentaré en forma más precisa. La abundante bibliografía disponible sobre el Cambio Global del Clima, se origina en la pretendida perturbación que ejerce sobre el sistema climático, el rápido crecimiento de la población humana y de su consumo. Como es

sabido, puede dividirse en: la destrucción del escudo de ozono estratosférico y el calentamiento global de la Tierra. De este calentamiento, se presume que resultará un cambio de la circulación general de la atmósfera y el océano y, como consecuencia, del clima terrestre. En el presente trabajo trataremos solamente de este último efecto, que tanta relación tiene con la producción económica de la sociedad.

## II. Ideas, conceptos y acepciones

Aunque las ideas y pensamientos se expresan por el lenguaje, no siempre éste se adecúa a los nuevos conceptos que crea o se originan en el intelecto humano. Con frecuencia se difunden neologismos, en forma de vocablos o giros idiomáticos, que tienden a suplir esta deficiencia hasta que el uso los convierte en conceptos formales, convencionalmente aceptados.

Así, las voces: escenarios, predicción y pronóstico, se han generalizado en el tratamiento del Cambio Global del Clima y de sus impactos, que conviene delimitar en sus alcances, para usarlas unívocamente. En idioma inglés, además de los tres equivalentes a los castellanos mencionados, existen "forecast" y sus derivados, que se usan como sinónimos de los correspondientes a "pronostic", aunque por su etimología de base, significa más el movimiento o la difusión hacia el exterior de un conocimiento

anticipado, que la estructura o la forma de generación del conocimiento involucrado.

La palabra "escenario", es originalmente un término teatral e histriónico, que por su extensión puede aplicarse a sucesos o manifestaciones reales, recreadas en forma fingida para impresionar por alguna circunstancia o requerimiento. Es decir, que es algún suceso o manifestación posible o real, aunque no compromete la idea de frecuencia.

La expresión "predicción", significa "decir previamente", o anunciar hechos que van a ocurrir por inspiración divina o por conjeturas realizadas sobre señales o indicios que se observan. En este caso, es fruto de la experiencia personal del predictor sobre observaciones pasadas, que no requieren conocer el proceso íntimo de sus causas. El diccionario Webster admite como tercera acepción: inferencia con respecto a un hecho futuro basado en la teoría de la probabilidad. En suma, la "predicción" es la noticia de hechos que pueden producirse en el futuro, elaborada mediante el razonamiento o conjeturas empíricas.

La "prognosis" y el "pronóstico", último concepto en la serie de pretender anunciar hechos futuros, es en cambio, por su etimología, el anuncio de éstos, basado en el conocimiento científico del proceso íntimo que los determina.

Por lo dicho anteriormente, se debe advertir que lo presentado aquí, son simplemente los escenarios posibles del Cambio Global del Clima en la Argentina y de sus consecuencias, según los argumentos y trabajos utilizados para elaborarlos y que se irán modificando a medida que aparezcan nuevas contribuciones aclaratorias de las incertidumbres existentes sobre el proceso de cambio. También podrían modificarse los escenarios propuestos, si se contara con mayor información

climatológica básica en el país.

### III. Certezas e incertidumbres actuales sobre el cambio global del clima.

Muchos son los trabajos que se han ocupado de las incertidumbres de los modelos actuales de variación de la circulación general de la atmósfera, por el incremento de los gases invernaculantes y de sus consecuencias. Varios de ellos son trabajos que tratan su intercomparación y, aunque no es el propósito discutir aquí este problema, sólo se mencionará que será útil consultar los de Schlesinger y Mitchell (1987), Grotch (1988), Burgos et al (1991). OMM (1991) y el informe del Panel Internacional sobre el Cambio Climático (PICC) de Houghton et al (1990).

De los trabajos comentados se puede resumir, que las incertidumbres se originan, por una parte, en la metodología instrumental de los modelos elaborados para simular un proceso termo e hidrodinámico y, en segundo lugar, porque algunos de los aspectos físicos del proceso desarrollado, en los sistemas climático y geográfico no se conocen todavía en forma suficiente.

A todo esto, que es lo real del problema, deben agregarse los grandes intereses económicos, que se pueden ver afectados en lo inmediato, por las medidas tendientes a evitar o mitigar los cambios que se avizoran, los cuales han desarrollado una gran campaña adicional de incertidumbres con fundamentos dudosos e interesados, cuando no, argumentos falaces. Como esto no es nuevo en el curso histórico de la ciencia, el tiempo y la profundización del conocimiento aclararán las incertidumbres actuales, en un futuro no muy lejano, creemos que en los próximos 10 años. (Reifsnyder, 1989; Singer et al, 1991).

La metodología instrumental, utilizada en los modelos de simulación físico-matemática, está limitada por la magnitud de su escala frente a la capacidad computacional disponible y el costo de su operación. Las grillas de  $5^\circ \times 5^\circ$  ó  $5^\circ \times 8^\circ$  de latitud y longitud geográficas, en cuyas unidades debe generalizarse un valor medio de altitud, relieve, dinámica de la cobertura y características físicas de la superficie, etc., resultan de poca definición para obtener resultados de aplicación práctica a nivel regional, nacional o local. La necesidad de contar con datos de diverso tipo, en 9 u 11 capas de altura de la troposfera y 3 a 5 de profundidad en los océanos, en intervalos de tiempo próximos al día, produce un volumen de información muy costoso de procesar y difícil de verificar con los 80 - 100 años de valores observados sobre la superficie de la Tierra, disponibles actualmente.

Los aspectos físicos principales del proceso climático, que aún deben ser mejor conocidos, han sido señalados por el PICC (Houghton et al. 1990), como los siguientes:

- 1.- En qué forma y grado, la Tierra puede regular los gases con efecto invernáculo.
- 2.- Cómo cuantificar mejor los efectos de la nubosidad sobre la radiación solar y terrestre.
- 3.- Cómo evaluar con más exactitud la consecuencias termodinámicas de la precipitación y evaporación.
- 4.- Ajustar los valores reales de la energía almacenada y transportada por el océano.
- 5.- Ajustar los valores de intercambio de masa y energía entre los ecosistemas dinámicos y su ambiente externo.

Afortunadamente, hoy existen organismos internacionales, gubernamentales, no gubernamentales y centros

e institutos nacionales, que sostienen importantes programas para esclarecer todas estas incertidumbres y esperamos que para el fin de este siglo, se estará más cerca del pronóstico del Cambio Global que en la actualidad.

IV. Escenarios de la variación de algunos indicadores del desarrollo económico-social en la Argentina como consecuencia del incremento del efecto invernáculo en la Tierra.

Dos elementos fundamentales del clima tienen un efecto determinante sobre el desarrollo de la economía y de la sociedad: el régimen térmico y la disponibilidad de agua sobre los continentes. La relativa estabilidad climática del Holoceno, a partir de la última deglaciación (8.000 años a.p.), puede servir de base para juzgar que la distribución de los grandes biomas de la Tierra, los mayores agrosistemas, así como las principales comunidades humanas, han llegado a un cierto equilibrio con el clima del ambiente geográfico que los sustenta, aunque a veces también los agrede.

Por lo menos dos grandes cataclismos climáticos afectaron al Hombre prehistórico, como fueron las dos últimas glaciaciones del Pleistoceno, seguidas por fuertes deglaciaciones, las primeras centradas aproximadamente en los 150.000 y 15.000 años a.p. Testigos de estos importantes fenómenos permanecen en ambos Hemisferios en determinadas profundidades de glaciares en la Antártida y en Groenlandia. Se sabe que ambos enfriamientos se produjeron cuando la atmósfera bajó su contenido de  $\text{CO}_2$  a valores oscilantes alrededor de 190 p.p.m.v. y las deglaciaciones, después de que tales valores, subieron en forma sostenida a 290 p.p.m.v. En esas épocas

la población era tan reducida y primitiva, que la variación del efecto invernáculo se ha explicado como consecuencia de causas exclusivamente naturales.

Desde fines del siglo pasado y en el presente siglo, como consecuencia de la denominada revolución industrial y del crecimiento exponencial de la población mundial, el contenido de CO<sub>2</sub> en la tropósfera se ha homogeneizado en los 345 p.p.m.v. y proyectando esta tasa de crecimiento hacia el futuro, se afirma que en la segunda mitad del próximo siglo es probable se duplique este valor. Esta proyección se ha definido como escenario A, mientras el escenario C se refiere al improbable que podría resultar de interrumpir drásticamente a las emisiones actuales y el escenario B al correspondiente a una reducción moderada de estas últimas.

Por todas estas circunstancias, desde hace unos años se considera oportuno montar solamente escenarios sobre las consecuencias posibles de sobrevivir, si el Cambio Global del Clima ocurre como predicen algunos modelos.

De los modelos de simulación tridimensional de la circulación de la fluidoesfera puede hallarse la mayor coherencia en los resultados de las últimas versiones del GISS y NCAR, que son los más usados en estudios efectuados sobre los impactos, por lo que fueron aplicados en este trabajo para predecir el cambio térmico. La relación hallada por Pittock y Salinger (1982) y Pittock (1983) en Australia, en el período instrumental, entre la variación y la tendencia de la temperatura de la superficie oceánica del Hemisferio Sur y la distribución geográfica y el volúmen de las precipitaciones continentales, es una evidencia o analogía, que se considera válida para otros países de este Hemisferio, cuyos climas están sometidos a una influencia oceánica

similar.

## **1- Escenarios del cambio térmico en la República Argentina, como consecuencia del incremento de los gases invernaculantes en la tropósfera.**

Para determinar los cambios térmicos del epígrafe, se han seguido los resultados de la variación que resulta de la versión del modelo GISS (Hansen et al., 1987 y 1988 a) y que en parte concuerdan con la versión del NCAR (Dickinson, et al., 1986). Para ello, con los valores anuales medios de la temperatura de los mapas correspondientes a los años 2010 y 2050, para una serie de 206 estaciones del país, se calcularon los valores medios mensuales de temperatura de cada uno de los años mencionados y, con éstos, se aproximaron las isotermas mensuales medias respectivas. Para este fin, se estimó la temperatura media del mes más cálido y del mes más frío en cada localidad, teniendo en cuenta el mayor calentamiento del mes más frío sobre el mes más caliente, efecto éste ligado a la latitud y a la continentalidad. Entre los 30° y los 45° de <sup>º</sup>LS se consideró un incremento de un 60 y 40% del calentamiento anual, para el mes más frío y más caliente respectivamente, mientras que entre 30 "LS y el Trópico de Capricornio estos valores se variaron a 55 y 45% para tales meses. Desde el Trópico de Capricornio hacia el Norte y al Sur de 40 <sup>º</sup>LS, en aumento anual de la temperatura se repartió uniformemente en 50 y 50% en los meses extremos, al tenerse en cuenta, en el último de los casos, el gran efecto de la oceanidad sobre la Ptagonia. En los meses de la rama ascendente y descendente de la variación anual de temperatura, el incremento se distribuyó ordenadamente

con porcentajes relativos a los porcentajes extremos mencionados anteriormente.

Los valores e isolíneas del balance hidrológico que se aplican en este trabajo, se estimaron para los años 2010 y 2050 sobre la base de los incrementos de precipitación de la Fig. N° 1 b y los valores de temperatura estimados de la red de 206 estaciones mencionadas anteriormente, según el método de Thornthwaite y Mather (1955).

Se estimó, además, el período libre de heladas, por ser un parámetro térmico de gran importancia en la producción económica. Para ello se aplicó una correlación múltiple, que usa como variables independientes la temperatura media anual y la amplitud térmica anual. Estos últimos valores, provistos por la estimaciones anteriores, para la República Argentina se relacionaron así:

$$P M L H \text{ (días)} = 224 + 13.6 T M A - 13.2 A T A$$

donde: P M L H es el medio libre de heladas (0°C en abrigo), en días.

T M A temperatura media anual

A T A amplitud térmica anual

En esta correlación calculada para 261 estaciones utilizando los valores de Burgos (1983), resultó R (múltiple) = 0.93 con  $S = \pm 11.8$  días. (Sierra y Pórfido, 1980).

Los escenarios posibles derivados del cambio del régimen hidrológico se basaron en la hipótesis de Pittock y Salinger (1982) y Pittock (1983), mencionada anteriormente, sobre la relación entre la diferencia de precipitaciones ocurridas en 40 años con la superficie del océano fría (1905-1944) y los cuarenta siguientes de superficie de océano caliente (1945-1984), que se aproxima a +0.3°C. (Jones

et al, 1986). Esa diferencia de temperatura media de la superficie oceánica del Hemisferio Sur, concuerda con un aumento de la precipitación distribuida como muestra la figura N° 1 a y b. Se puede apreciar que en la porción norte más oriental, hasta los 37° LS, se registró un aumento entre el 20 y 25% del promedio normal de la precipitación, que tiende a disminuir hacia el Oeste hasta llegar a valores muy próximos a 0%, en las altitudes bajas al pie de la Cordillera de los Andes. Hacia el Sur aumentaron las precipitaciones en más del 30% sobre los valores normales entre los 42 y 44° LS, para disminuir hacia el Sur. Proyectando este mismo incremento para las próximas décadas, se calcularon las lluvias para una serie de 30 estaciones básicas, con 80 años de registro, se estimaron los parámetros del balance hidrológico y sus valores medios mensuales. Al S de 45° LS no se dispuso de estaciones con 80 años de observaciones de precipitación, por lo que se omitieron isolíneas de elementos de este balance.

Será interesante notar aquí que esta variación de la precipitación tiene también, en parte, coherencia con la hipótesis de Molión descrita en Burgos et al. (1991) y lo afirmado por Parry, Mendzhuliny Shina (1990), en el Capítulo 2 "Agriculture and Forestry" de "Climate Change: The IPCC" "Impacts Assessment", presentando a la II Conferencia Mundial del Clima, Ginebra, escribieron: "Argentina, Chile and North Andean region: according to 2 x CO2 GCM experiments", "rainfall is projected to increase in current and moist areas and decrease in the semiarid areas in the rain shadow of the Andes. Increases of 2 - 4°C would increase in evapotranspiration by at least 10% possible leading to a drying of the Pampas".

## 2. El cambio climático y la aptitud forestal.

La aptitud forestal del país, si se cumple el Cambio Climático predicho, aumentará en extensión, y variará en su especificidad. El límite climático de las formas arbóreas, que se ha estimado en 25 - 30 kcal cm<sup>-2</sup> año<sup>-1</sup> (Burgos, 1975), correspondiente aproximadamente a un valor de 450 - 500 mm de evapotranspiración potencial anual, hoy sólo existe en las altas cumbres de los Andes y en el extremo sur de la Patagonia. Con el aumento del balance de radiación y de la temperatura, prácticamente, toda la extensión del país hasta aproximadamente los 3600 m.s.n.m. quedará por encima de este límite.

En la Fig. Nº 2, se puede apreciar el avance del exceso de agua hacia el Oeste y Sur de la región, con valores de exceso de agua anual > 300 mm, en donde será posible la forestación higrofítica sin riego, así como la expansión hacia el W y S de la isolínea de 500 mm anuales de evapotranspiración real, hasta donde será posible una forestación con especies higrofíticas con riego y xerofíticas sin riego.

En cuanto a las especies aptas para los nuevos ambientes, deberá tenerse presente otras limitantes térmicas, como las que se muestran en las Figs. Nº 3 y 4.

En general, se incrementará el ámbito para las especies tropicales y subtropicales en el Centro del país y se desplazará hacia el Sur el correspondiente a las especies de clima templado, que generalmente requieren frío durante el invierno, para romper el descanso invernal.

## 3- El cambio climático y la aptitud agrícola.

Un parámetro fundamental, que fija el límite agroclimático entre la agricultura de desarrollo y la de subsistencia, es el período libre de heladas en el año, de 150 días. Este límite, sin embargo, es relativo, puesto que puede existir agricultura de desarrollo en países con períodos libres de heladas de 90 a 100 días, como en el norte de Canadá, cuando sus extremos de fechas medias de las primeras y las últimas heladas tienen una estrecha variabilidad ( $\sigma = \pm 7-8$  días). En el caso de Argentina, esta variabilidad es máxima por los valores de  $\sigma = \pm 20-30$  días y éstos no variarán con el Cambio Global que se predice.

En la Fig. Nº 3, se puede apreciar el desplazamiento de la isolínea de los 150 días libres de heladas hacia el SW en el sur del país. La línea actual deja, como región agrícola de desarrollo, algunos valles protegidos de las provincias de Neuquén y La Pampa, a 250 m.s.n.m. y en las regiones costeras más al sur de las provincias de Río Negro, Chubut y Santa Cruz a más de 200 m.s.n.m.

La isolínea mencionada, en el año 2010 subirá aproximadamente a los 250 m.s.n.m. y dejará, con valores mayores a este límite, el extremo oriental de la provincia de Tierra del Fuego. La isolínea prevista para el 2050, se ubicará en los relieves de 500 m.s.n.m. y dejará al W una estrecha faja, desde el estrecho de Magallanes hasta los 42º LS, como de agricultura de subsistencia.

En el NE del país, donde hoy prácticamente hiela todos los años y no existe la isolínea de 365 días libres de heladas, se puede observar como la provincia de Misiones, casi toda la de Corrientes, el NE de la provincia de Santa Fe y el extremo E de Formosa y

Chaco, quedarán en el año 2010 con valores superiores a los 365 días que en el 2050, la isolínea penetrará hasta el N de Entre Ríos, N de Santa Fe y casi toda la provincia de Formosa y Chaco. Debido a que, en las condiciones macroclimáticas actuales de país, no existen regiones con período libre de heladas superiores a 365 días, aunque sí más al N en latitudes intertropicales, en el NE hemos incluido la isolínea de 360 d.l.h., diferenciando su traza con puntos claros. Tales características pueden indicar la mayor aptitud que tendrá esta amplia región para cultivos tropicales, con alguna tolerancia al frío como: Hevea, café, mandioca, caña de azúcar, ananá, papaya, etc., y una considerable expansión de la aptitud para cultivos subtropicales como citrus, arroz, kiwi, etc.

En la misma figura, se ha indicado el desplazamiento de la isolínea actual de 240 días libres de heladas, característica del centro de la actual "Gran Pampa Agrícola Ganadera Argentina".

Según estos escenarios, el desplazamiento de la isolínea mencionada hacia el SW será de 600 a 800 km en la parte más continental del país, si su calentamiento anual fuera de +4°C como prevé el escenario A de 2 + CO<sub>2</sub>.

Otro indicador importante de la aptitud climática para los mayores agrosistemas así como para definir sus desplazamientos por el Cambio Global, es la isoterma de la temperatura media del mes más frío de 12°C. (Fig. N° 4). Este límite surge de considerar posible que la amplitud media de ese mes será 10-12 °C y que por lo tanto la temperatura media mínima se fijará en 6-7°C. Con temperaturas inferiores a este límite, se podrán satisfacer medianamente los requerimientos de frío de las plantas, que lo necesitan para romper su **descanso invernal** (plantas y cultivos de

clima templado) y con valores superiores, el clima será más apto para especies y cultivares de clima subtropical. La isoterma del mes más frío (Julio) de 12°C en el año 2050 se desplazará, según este escenario, entre 300 y 800 km. Es decir, que gran parte de la típica región pampeana quedará en el dominio de las plantas y cultivos subtropicales como, entre otros, sorgo, maíz, girasol, trigos africanos, soja y forrajeras subtropicales.

Por último, en la Fig. N° 4 se muestra, también, el desplazamiento de la isolínea de 200 mm de deficiencia de agua anual, que es un buen límite en esta región, entre la agricultura de secano y con riego. Se puede notar así, que la expansión de la agricultura de secano hacia el W, puede ser de 200 km en el N y de 100 km en el Sur, al N de los 40° LS. Al S de este límite no se dispone aún de suficiente información.

#### **4- El cambio climático y la aptitud ganadera.**

La aptitud del clima con respecto a la producción ganadera, es necesario considerarla, en primer lugar, según el grado en que aquél ofrezca condiciones de bienestar, para el crecimiento y desarrollo a las diferentes especies o razas que componen esa producción. Recién en segundo lugar, debe tenerse en cuenta las condiciones que facilitan la producción suficiente de alimentos en cantidad, calidad y estacionalidad. Esto es así, por cuanto los alimentos se pueden producir en lugares o regiones donde los animales se crían o introducirlos desde otras regiones.

La producción animal o ganadera se ha desarrollado principalmente con especies homeotérmicas, es decir con aquellas que tienen una temperatura corporal casi constante durante su ciclo

de vida. Cuando la temperatura exterior pasa de ciertos valores extremos, ocurren ajustes fisiológicos que demandan consumo de energía, que no puede ser aprovechada en el crecimiento, ni en el desarrollo, lo cual determina a su vez, una baja en la producción. Este nivel térmico de su bienestar, denominado zona de termoneutralidad, poco variable en las especies de clima templado, en casi todas ellas no puede superar los 21°C. En las regiones subtropicales y en las templadas, con una variación anual de la temperatura anual de la temperatura de aproximadamente 10°C, como es el caso de la Argentina, un indicador climático para el límite entre la ganadería de clima tropical y templado, puede ser la isoterma del mes más cálido de 26°C. Un clima local de estas condiciones, con una amplitud diaria de temperatura también de aproximadamente 10°C, tendrá a los animales en condiciones no confortables o de "stress", durante las 24 horas del día. En el mes más frío, del mismo modo, ocurrirán en las horas diurnas valores iguales o superiores a 21°C.

En la Fig. Nº 5, se puede observar la posición actual de la isoterma de 26°C del mes más cálido (Enero), que coincide con la actual separación entre la ganadería tropical (Cebú, Brahman, Brangus, Santa Gertrudis, etc.), y la de clima templado (Shortorn, Hereford, Aberdeen Angus, Charolais, Pardo Suizo, etc.). La ganadería tropical, según este escenario se tendrá que desplazar, en el Centro del país, más de 800 km hacia el Sur. En el Este de la región pampeana, por la influencia oceánica, ese desplazamiento aparece menor, apenas unos 300 km en la provincia de Entre Ríos y en una gran parte oriental de la de Buenos Aires.

El desplazamiento de la isoterma media

mensual del mes más frío (Julio), que muestra la misma figura, resultará interesante para juzgar la expansión que puede alcanzar hacia el SW el ganado de clima templado sin estabulación. Se puede observar, según el escenario adoptado, que esa isoterma, con muy poca diferencia entre los años 2010 y 2050, se desplaza hacia el W unos 150-200 km en las provincias de Río Negro, Chubut y Santa Cruz. En este caso, sin embargo, habrá que tener en cuenta que algunas especies como los ovinos, caprinos y bovinos europeos tienen una zona de termoneutralidad cuyo extremo mínimo se extiende hasta valores más bajos, que en como los suinos y las aves.

La disponibilidad local de alimentos para la producción ganadera, en relación con el cambio térmico analizado, deberá ser de especies y cultivares de tipo subtropical en el Norte del país y de pastizales templados en la mitad Sur.

Las condiciones hidrológicas del cambio, que surge de este escenario para latitudes al N de 45 °LS se pueden apreciar con los indicadores que muestra la Fig. Nº 2. En ella se observa el desplazamiento del Índice Hídrico 0, límite entre los climas húmedos y áridos, que alcanzará para el año 2050 unos 150-300 km, es decir que los climas subhúmedos húmedos y subhúmedos secos, de acuerdo con esta hipótesis, se trasladarán hacia el W y S. La ampliación del exceso de agua en el NE, significará la consiguiente de los pastizales hipocalcémicos e hipofosfóricos sobre los que actualmente existen.

Sobre el W de esta porción norte del país, en las vertientes al E de los Andes, el Índice Hídrico es algo más negativo que los actuales, por lo que deberá esperarse un aumento de la degradación de los pastizales de la aridez y será necesario prever el desarrollo de



especies y cultivares más tropicales y resistentes a la sequía, que los que existen hoy.

Falta información suficiente al S de 45°LS, para estimar y analizar el cambio de las condiciones hidrológicas futuras y sus consecuencias, como se ha hecho al N de ese límite geográfico.

## **5- Aptitud para la actividad Industrial y el Cambio Global**

En el trabajo citado anteriormente (Burgos, 1975), se estableció analógicamente, que la industria de desarrollo actual se manifiesta en países que tienen aptitud climática para el desarrollo forestal y agrícola. De ello se infiere que la industria necesita ciertas condiciones externas a ella misma, que contribuyen al establecimiento de poblaciones estables, como son los alimentos y la vivienda. Sólo así podrá obtener la industria una concentración de población intelectual y operativa, indispensable para su sustento. Otras condiciones importantes que requiere este desarrollo, son las que contribuyen al bienestar corporal humano, que permita la mayor intensidad de producción de trabajo intelectual y físico. El bienestar corporal, básicamente, se puede definir con indicadores de la temperatura exterior. En este sentido debe tenerse en cuenta que el Hombre es también un homeotermo. Como los animales de este tipo, debe conservar su temperatura corporal cercana a los 37°C, y temperaturas superiores o inferiores a su nivel termoneutral, le desencadenarán ajustes fisiológicos que consumen energía adicional y comprometen su producción intelectual y física. El propioclíma (vestimenta), el clima de interiores y cierta adaptación (climatización o aclimación), le permiten variar entre estrechos límites esta

tolerancia. Para el hombre desnudo, en reposo y ayunas, esta zona se encuentra entre 25°C y 27°C, (Erikson y Krog, 1956) pero, para una persona adulta normalmente vestida y en actividad, se la puede estimar entre 15°C y 18°C. Estas temperaturas y sobre todo los 18°C, representan una temperatura óptima para el trabajo humano.

Es notable que estas condiciones de bienestar resulten muy similares para los humanos de raza blanca, negra africana y esquimales. Sólo algunas razas muy singulares como los aborígenes Alacaluf, de Tierra del Fuego (Elsner, 1963) y los aborígenes australianos (Carlson, 1964), muestran una fisiología más diferenciada y extrema.

De estas consideraciones se puede conjeturar, que los climas con temperaturas del mes más cálido (Enero) por debajo de 10-15°C y período libre de heladas < 150 días y que, por lo tanto, no tienen aptitud para el desarrollo agrícola ni forestal (corresponde con vegetación de tundra o taigá), sean climas "depresivos" para el confort humano y, por ende, para el desarrollo industrial. Estos climas sólo existen actualmente en el extremo SW de la Patagonia y Tierra del Fuego. Entre ellos los de temperatura < 10°C desaparecerán de los relieves llanos en que hoy dominan y los < a 15°C, se desplazarán hacia el SW, como muestra la Figura Nº 6.

Los climas agrícolas, con capacidad forestal (> 150 d.l.h.), con temperaturas de 15-18°C del mes más cálido, pueden definirse como climas "estimulantes" para el hombre en actividad, por lo cual resultarán óptimos para el desarrollo industrial. las condiciones actuales de este tipo bioclimático abarcan una franja del Centro de la provincia de Chubut y la mitad Este de Santa Cruz, que hoy no tienen condiciones para agricultura de

desarrollo y condiciones muy limitadas para la forestación.

El escenario correspondiente al año 2010, con el desplazamiento hacia el S y SW de la isolínea de 150 d.l.h., Fig. N° 3 y de las isotermas de Enero entre 15 y 18°C (Fig. N° 6), se establecerá una región óptima para el desarrollo industrial; si bien es probable que tanto la producción agrícola, como la forestal, requiera riego (> 200 mm de deficiencia de agua anual). En el escenario del año 2050 si se cumpliera tal hipótesis, se ampliaría esta región. Debido a que el aumento de la temperatura será el menor que se registrará en el país por la gran influencia oceánica a que está sometida la región austral, el aumento del área "óptima" será moderado. (Ver Fig. N° 6). La región comprendida entre las isotermas de 18 y 21°C, definida bioclimáticamente como "sedante" para el hombre (Burgos, 1975), que si bien es buena para la actividad laboral, especialmente en el semestre frío del año, en los años 2010 y 2050 se ampliará en el país, como muestra la Fig. N° 6. Este tipo bioclimático puede considerarse como subóptimo para el desarrollo industrial, pues tiene una temperatura que durante todo el año invita al descanso y a la actividad al aire libre.

En las regiones con temperaturas medias del mes más cálido superiores a 21°C, deben distinguirse aquellas en las cuales la temperatura del mes más frío es inferior a los 21°C de las que en este mes se mantienen superiores a 21°C. En las primeras se debe considerar, que si bien algunos meses del año pueden ser incómodos para el trabajo intelectual y físico, la otra parte del año puede ser "sedante". La otra región con temperaturas medias del mes más frío > 21°C, resultará agobiante durante todo el año, por lo cual se la ha denominado "enervante", dado que la única defensa

del hombre será el reposo, con mínima producción de energía corporal.

De acuerdo con el escenario adoptado el tipo bioclimático "excitante" se ampliará en el año 2010 y aún más en el 2050. Afortunadamente el bioclima "enervante" no llega al límite Norte del país, ni tampoco en el año 2050. Este tipo de clima se extenderá notablemente en los países ecuatoriales como Brasil.

Otro aspecto de importancia que define la aptitud climática industrial es la disponibilidad de energía hidroeléctrica, que entre todas las fuentes de energía resulta la más limpia y, por lo tanto, la menos contaminante del ambiente. La abundancia de este tipo de energía, implica generalmente una producción industrial más económica, pues no requiere el uso de costosas estructuras descontaminantes del ambiente. La disponibilidad de este tipo de energía, se puede inferir de indicadores como el exceso de agua anual local y su altura sobre el nivel del mar, que conjugados se pueden expresar por isolíneas en unidades kilográmetros.

Las mayores fuentes de energía potencial del país están ubicadas en los sistemas montañosos, en la cordillera de los Andes y en países vecinos, como ocurre en las nacientes de los ríos del sistema del Plata (ríos Paraná, Uruguay, Pilcomayo y Bermejo). No se incluye aquí lo resultante del análisis de estos indicadores en el escenario descrito, por cuanto el trabajo aún está en ejecución; sólo se puede adelantar provisoriamente que con el Cambio Global el nivel de la línea de nieve en la cordillera de los Andes, podrá retroceder de su posición actual entre 800 m al N del sistema y 200 m en el S.

Para terminar se debe recordar, que el presente trabajo es sólo el primer escenario elaborado con los modelos adoptados e información disponible y

que éste podrá modificarse en el futuro, a medida que el conocimiento de los procesos físicos involucrados mejoren y la información disponible, real o empíricamente estimada, sea más abundante y confiable.

## **AGRADECIMIENTOS**

Debo expresar mi agradecimiento al

Servicio Meteorológico Nacional, que proporcionó la información climatológica utilizada; al investigador Ing. Agr. J.A. Forte Lay, por su colaboración en la programación y el ordenamiento de los datos utilizados; a la Srta. Edith Di Neubourg por su trabajo de computación, cartografía básica y revisión del manuscrito y a la Srta. Mirta Rabadán, por la elaboración de las ilustraciones.

## BIBLIOGRAFÍA

- BURGOS, J.J., 1963. "Las heladas en la Argentina". Colec. Científico del INTA, Vol. III, 388 pp. Mapas y Figs. Buenos Aires.
- BURGOS, J.J., 1975. "Macro, meso and micrometeorology as tools in the use of land in South America". Proc. of the WMO Symp. on Meteorology as related to Urban and Regional Land-use Planning, Asheville, N.C., 3-7 Nov. 1972, p. 39-91.
- BURGOS, J.J., 1990a. "Analogías Agroclimatológicas útiles para la adaptación social al posible Cambio Climático Global de América del Sur". Seminario sobre efectos climáticos de la contaminación atmosférica. Asociación Meteorológica Española (A.M.E.), 14 páginas 18-29 Enero, 1990. Revista de Meteorología. Bol. de la Asoc. Meteorológica Española Nº 14, pp. 107-116, Madrid, 1991.
- BURGOS, J.J., 1990b. "Analogías Agroclimatológicas útiles para la adaptación social al posible Cambio Climático Global de América del Sur". Rev. Geofísica 32, Junio 1990 p. 79-95.
- BURGOS, J.J., H. FUENZALIDA PONCE y L.C.B. MOLLION, 1991. "Climate Change predictions for South America". Climate Change 18: 223-293, 1991. (IGBP Southern Hemisphere Workshop, Mbabane, Swaziland, Dec. 11-16, 1988).
- DICKINSON, R.E.; A. HENDERSON-SELLERS; P.J. KENNEDY y M.J. WILSON, 1986. "Biosphere-Atmospheric transfer scheme (BARTS) for the NCAR Community Climate Model". NCAR Technical Note 275.
- CARLSON, L.D., 1964 "Physiology of exposure to cold". Physiology for Physicians, 2: 1-7
- ELSNER, R.W., 1963. "Comparison of Australia aborigenes, Alacaluf Indians and Andean Indians". Fed. Proc., 22: 840-843
- ERIKSON, H. y J. KROG, 1956. "Critical temperature in naked man" Acta Physiol. Scand. 37: 35-39.
- GROTCH, S.L., 1968. "Regional intercomprisons of general circulation model predictions and historical climate data". U.S. Dept. of Energy Res. TRO 41 CO2, 291 pp.
- HANSEN, J.; I. FUNG; A. LACIS; S. LEBEDEFF; D. RIND; R. RUEDY y G. RUSELL, 1987. "Prediction of near-term Climate Evolution. What Can Well Tell Decision Makers Now? Proc. o the Climate Change, Oct. 27-29, p. 35-44. Washinton D.C.
- HANSEN, J.; I. FUNG; A. LACIS; D. RIND; S. LEBEDEFF; R. RUEDY; G. RUSELL Y P. STONE, 1988 A. "Global Climate Changes as forecast by Goddard Institute for Space Studies Threedimensional Model". Journ. Geophys. Res. Vol. 93 (D8), 9341-9364.
- HOUGHTON, J.T.; G.J. JENKINS y J.J. EPARMUS, 1990. "Climate Change: The IPCC Scientific Assessment". Cambridge Univ. Press., Cambridge. 365 pp.
- JONES, P.D.; S.C. RAPER y T.M. WIGLEY. 1986. "Southern Hemisphere Surface air tmperature variations, 1851-1894" J. Clim. App. Meteorol. 25: 1213-1230.
- ORGANIZACION METEOROLOGICA MUNDIAL (OMM), 1991. "An Intercomparison of the Climates Simulated by 14 Atmospheric General Circulation Models". CAS/JSC. Working Group on numerical experimentation. Report Nº 15, WMO/TD Nº 425, 37 pp. Mapas y Gráficos, Ginebra.
- PARRY, M.L.; G.V. MENZHULIN y S. SHINA, 1990. "Agriculture and Forestry" Chap. 2, Climate Change; The IPCC impacta Assessment, p. 1-45. Canberra, Australia.
- PITTOCK, D.B. y M.J. SALINGER, 1982. "Towards regional scenarios for a CO2 - warmed Earth". Climate Change, 4: 23-40.
- PITTOCK, A.B., 1983. "Recent climatic change in Australia implications for a CO2 - Warned Earth". Climate Change, 5: 321-340.
- REIFSNYDER, W.E., 1989. "A tale of ten fallacies: the skeptical enquire's a view of the Carbon/Dioxide/Climate Controversy". Agric. and Forest Mteorology. Vol. 47, 349-371 p., Elsevier Science Publ. B.V. Amsterdam, Netherlands.
- SCHLESINGER, M.E. y J.F.B. MITCHELL, 1987. "Climate mode simulations of the equilibrium climatic response to increased carbon dioxide". Rev. of Geophys. Vol. 2 (4): p. 760-798.
- SIERRA, E.M. y D.O. PORFIDO, 1980. "Factores que afectan los rendimientos en la región

maicera argentina". Rev. Fac. Agronomía. UBA, 1 (2): 49-64 Buenos Aires.  
SINGER, S.F.; R. REVELLE y C?H? STARR, 1991. "What to do about greenhouse warming: look before you leap". COSMOS 1991 p. 28-33.  
THORNTHWAITE, .W. y J.R. MATHER, 1955. "The water balance". Pub. in Climatology. Vol. VIII, N° 1, 104 p. Drexel Inst. of Technology. Cnterton, N. Jersey.

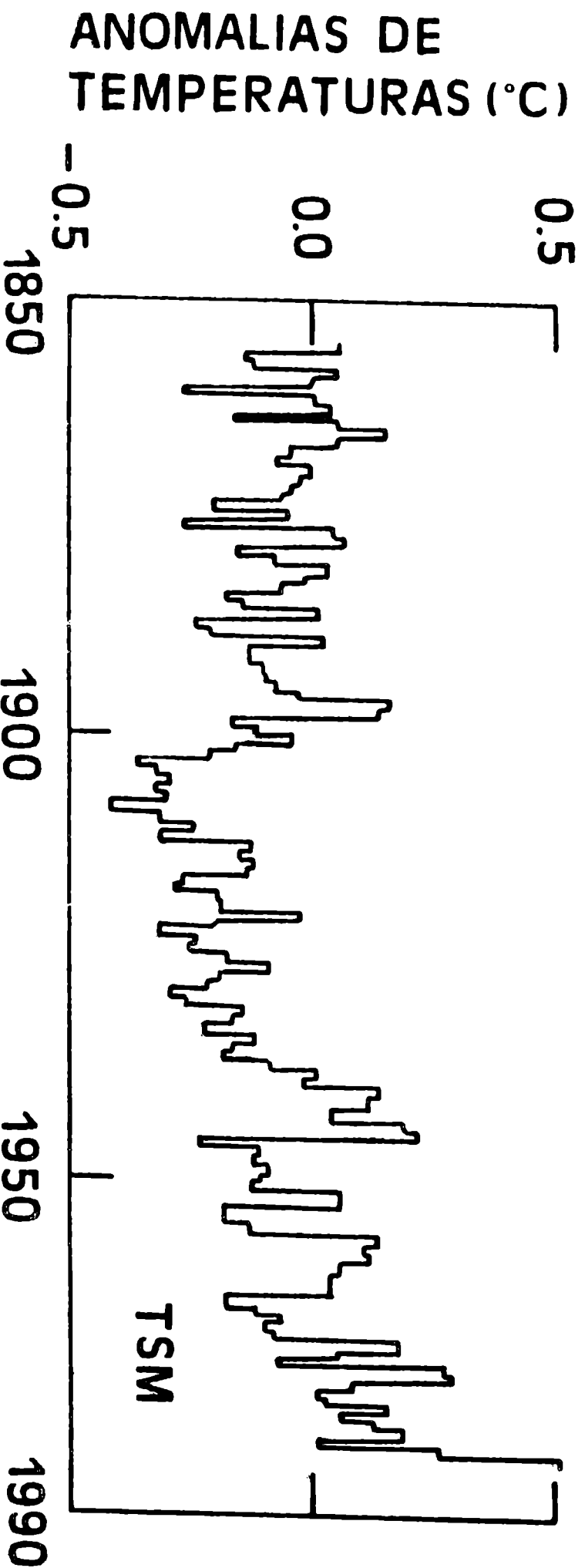


Fig. Nº 1 a

**JONES ET AL.  
(1986)**

Fig. Nº 1. Relación entre la temperatura de la superficie oceánica en el Hemisferio Sur y la precipitación continental en la República Argentina: a) variación de la temperatura media anual de la superficie oceánica en el Hemisferio Sur, en el período instrumental, Jones et al (1986); b) % de la variación de la precipitación media en el período 1905-1944 (superficie oceánica fría) y en el correspondiente a 1945-1986 (superficie oceánica caliente).

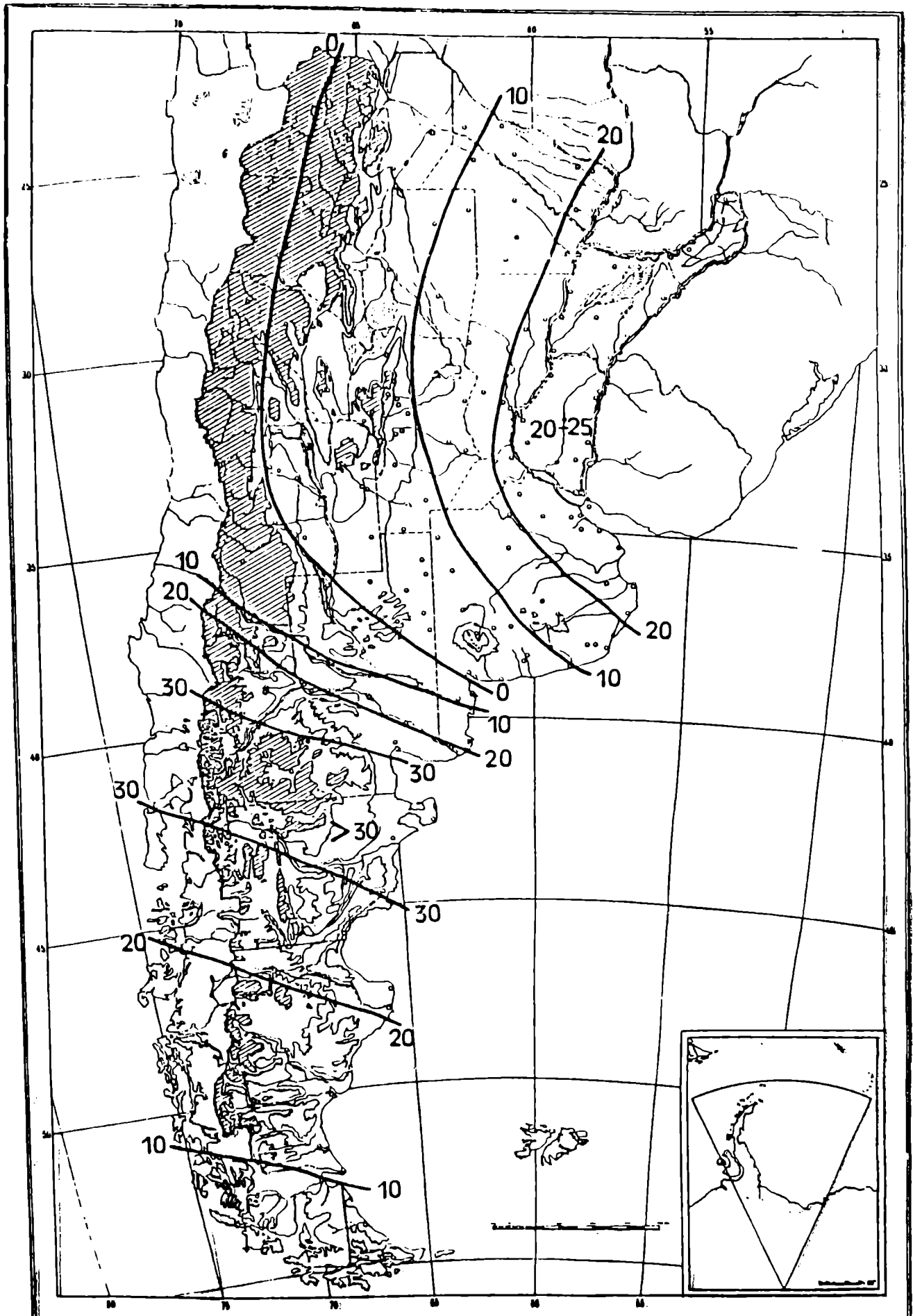


Fig. Nº 1 b % DE VARIACION DE LA PRECIPITACION ENTRE LOS PERIODOS 1905-1945 (SUP.OCEANICA.FRIA) Y 1946-1986 (SUP.OCEANICA CALIDA)

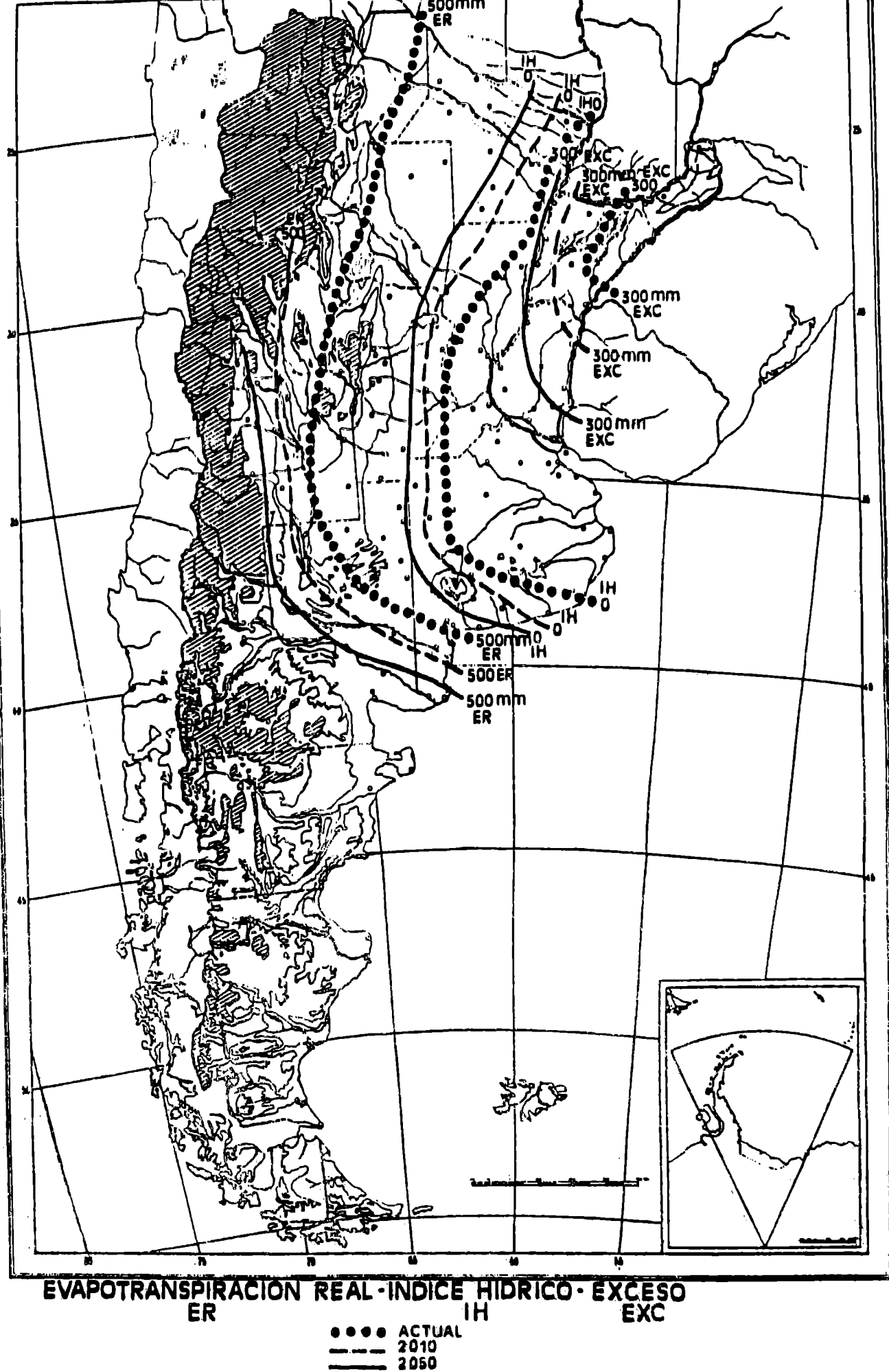


Fig. Nº 2. desplazamiento de las isolíneas de 300 mm de exceso de agua anual (Exc.) del índice hídrico Thornthwaite-Mather (IH) y de 500 mm de evapotranspiración real anual (ER), correspondientes a valores actuales (línea de puntos): al año 2010 (línea discontinua) y al año 2050 (línea continua).



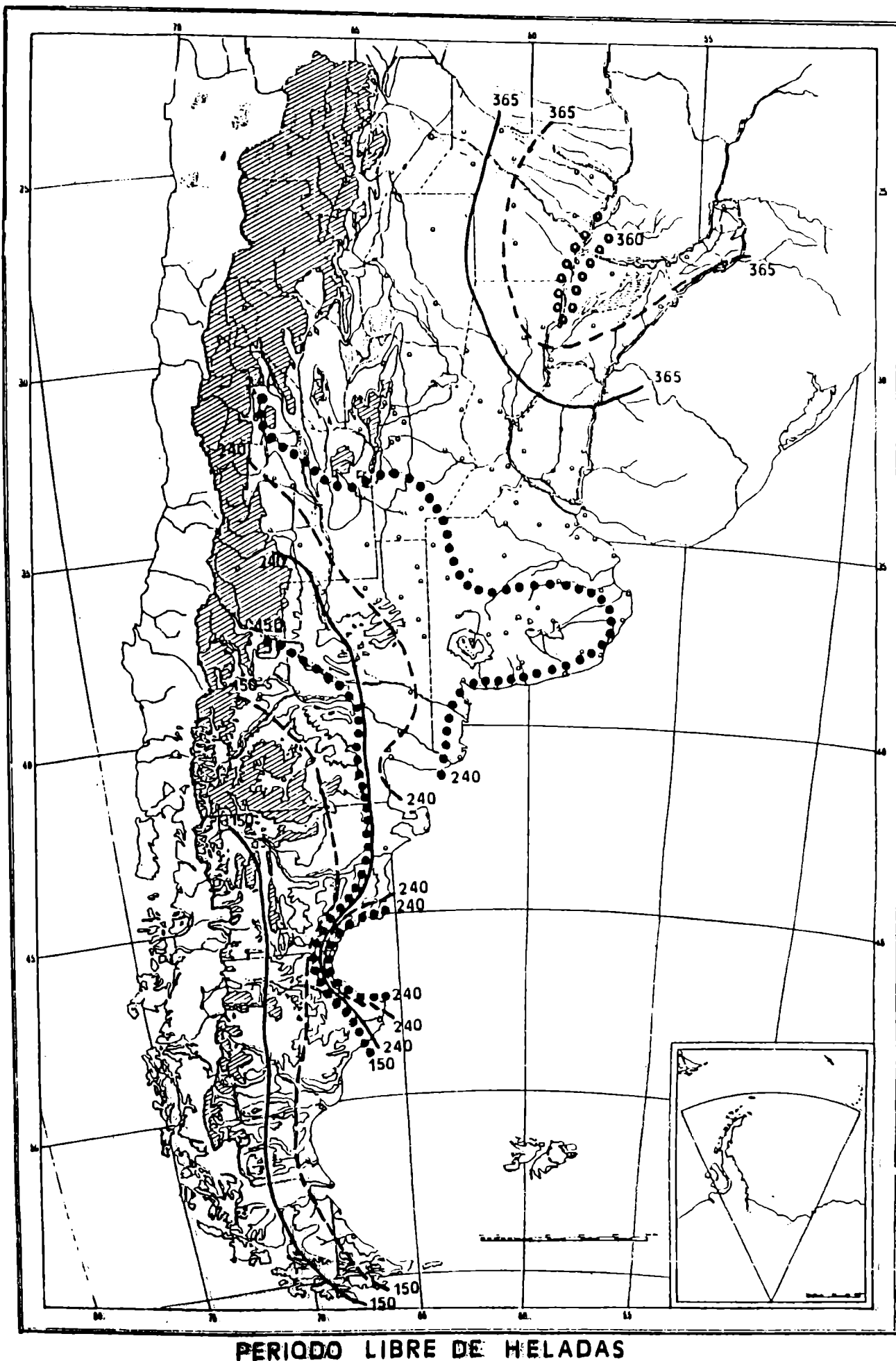
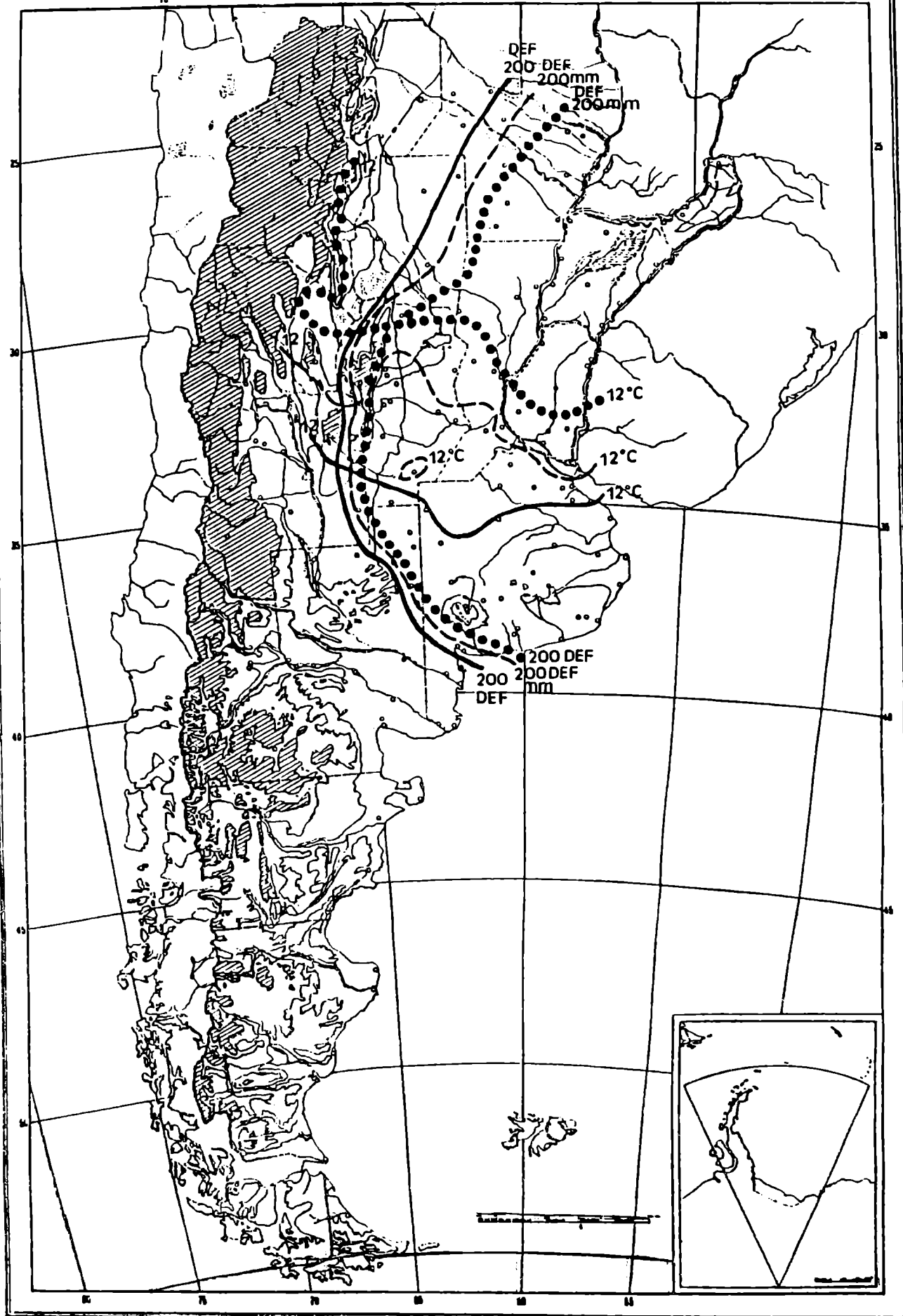


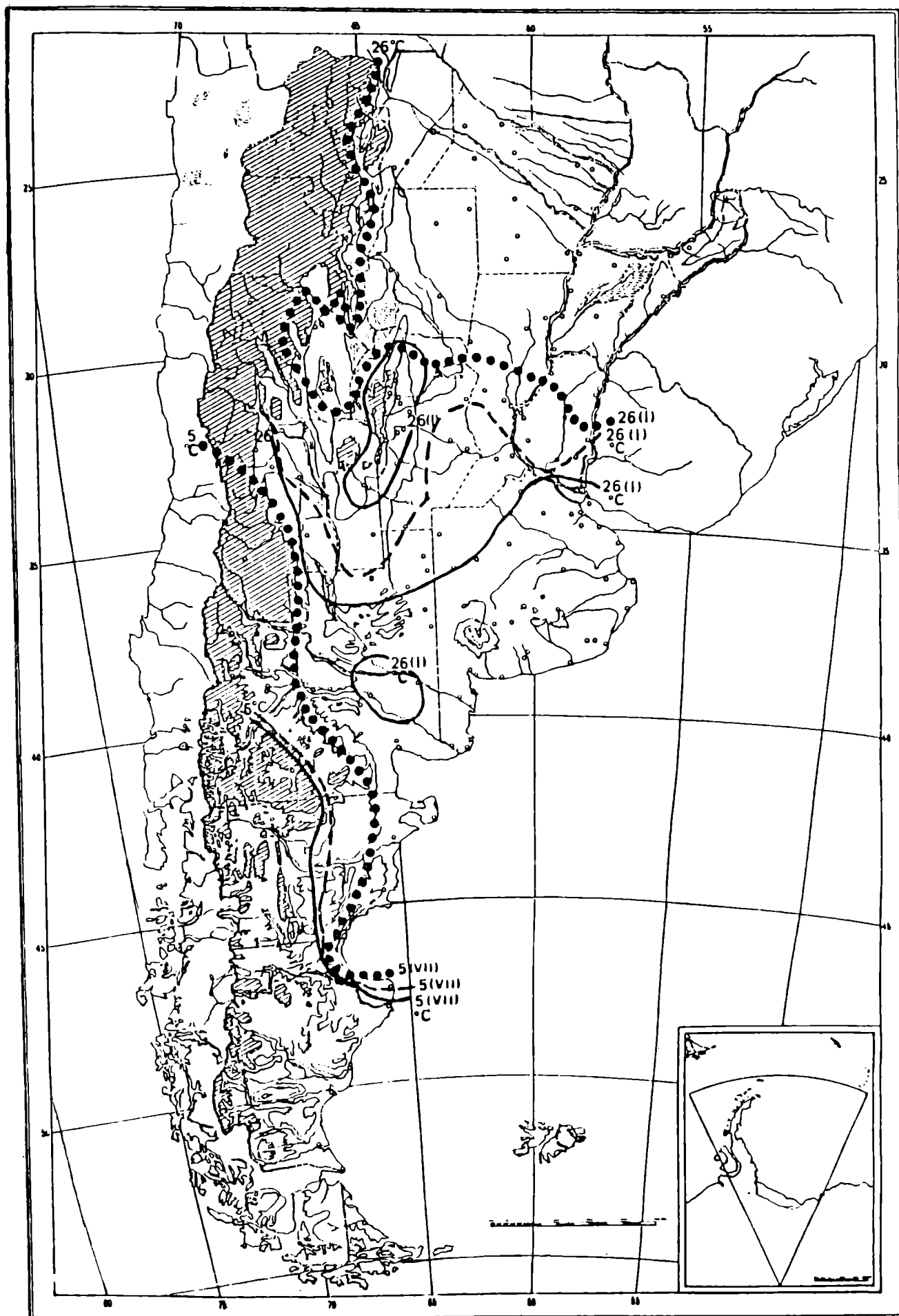
Fig. Nº3. Desplazamiento de la isolíneas del período libre de helada en el año, en días. Valores actuales (línea de puntos); año 2010 (línea discontinua) y año 2050 (línea continua).



# TEMPERATURA MEDIA MENSUAL JULIO DEFICIENCIA DE AGUA (DEF)

●●● ACTUAL  
--- 2010  
— 2050

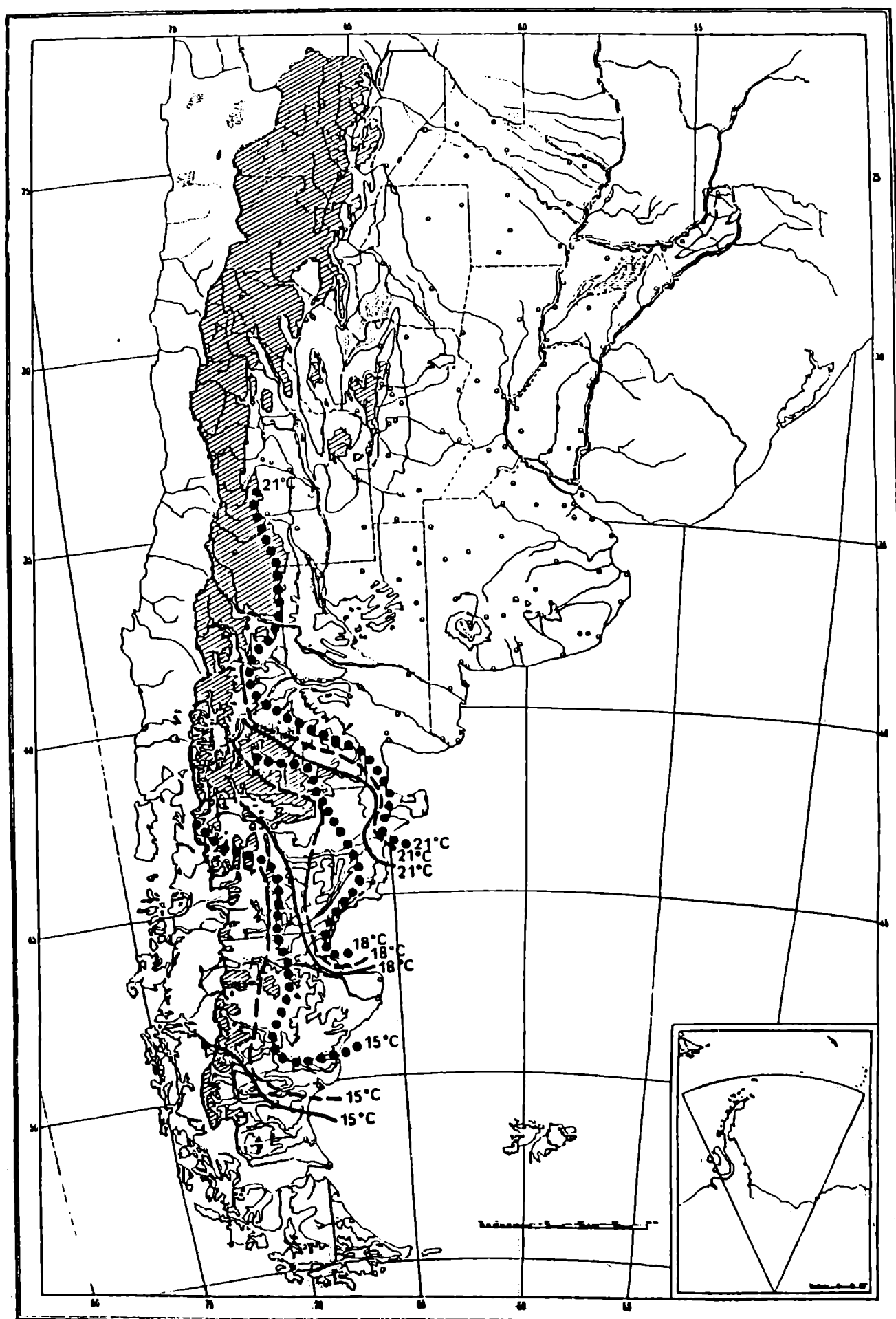
Fig. Nº 4. Desplazamiento de la isotrma de 12 oC de temperatura media mensual de Julio. Deficiencia de agua anual en mm (DEF.). Valores actuales (línea de puntos); año 2010 (línea discontinua) y año 2050 (línea continua).



# TEMPERATURA MEDIA MENSUAL ENERO (I) - JULIO (VII)

●●● ACTUAL  
 --- 2010  
 — 2050

Fig. Nº5. Desplazamiento de la isoterma de 26 oC de temperatura media mensual de Enro (I) y de Julio (VII). Valores actuales (línea de puntos); año 2010 (línea discontinua) y año 2050 (línea continua).



# TEMPERATURA MEDIA MENSUAL ENERO

●●● ACTUAL  
 --- 2010  
 ——— 2050

Fig. N°6. Desplazamiento de las isotermas de 15, 18 y 21 oC de temperatura media mensual de Enero. Valores actuales (línea de puntos); año 2010 (línea discontinua) y año 2050 (línea continua).